

**STUDI PERKIRAAN SUSUT ENERGI DAN DAYA LISTRIK PADA JARINGAN
TRANSMISI TEGANGAN TINGGI 150 KV JAJAR – MANGKUNEGARAN
Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) APP SALATIGA**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I Jurusan Elektro
Fakultas Teknik**

Oleh:

**ALFIAN DE ARSILLA MAHARDHIKA PRATAMA
D400130082**

**PROGRAM STUDI ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

**STUDI PERKIRAAN SUSUT ENERGI DAN DAYA LISTRIK PADA JARINGAN TRANSMISI
TEGANGAN TINGGI 150 KV JAJAR – MANGKUNEGARAN
Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) APP SALATIGA**


PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

ALFIAN DE ARSILLA MAHARDHIKA PRATAMA
D400130082

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing


Ir. Jatmiko, MT 28/12
NIK. 622

HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI PERKIRAAN SUSUT ENERGI DAN DAYA LISTRIK PADA JARINGAN
TRANSMISI TEGANGAN TINGGI 150 KV JAJAR – MANGKUNEGARAN
Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) APP SALATIGA**

Oleh:

ALFIAN DE ARSILLA MAHARDHIKA PRATAMA
D400130082

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Sabtu, 4 Maret 2017
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

- 1. Ir. Jatmiko, MT**
(Ketua Dewan Penguji)
- 2. Aris Budiman, ST.MT**
(Anggota I Dewan Penguji)
- 3. Umar, ST.MT**
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)
(.....)
(.....)

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, MT., PhD

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 4 Maret 2017

Penulis



ALFIAN DE ARSILLA MAHARDHIKA PRATAMA

D400130082

STUDI PERKIRAAN SUSUT ENERGI DAN DAYA LISTRIK PADA JARINGAN TRANSMISI TEGANGAN TINGGI 150 KV JAJAR – MANGKUNEGARAN

Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) APP SALATIGA

ALFIAN DE ARSILLA MAHARDHIKA PRATAMA

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

alfiaan.mahardhika@gmail.com

Abstrak

Listrik merupakan kebutuhan yang sangat vital bagi kehidupan manusia. PT. PLN (Persero) selalu berusaha memberikan pasokan listrik dengan keandalan dan kualitas listrik terbaik, pada waktu proses pendistribusian dari pembangkit sampai ke konsumen perlu adanya suatu saluran listrik termasuk saluran transmisi. Proses penyaluran ini nantinya akan mengalami rugi-rugi daya baik dalam penghantar maupun transformator. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan nilai antara perhitungan secara manual dengan hasil simulasi dari ETAP 12.6. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui nilai rugi-rugi daya saluran transmisi dari Jajar ke Mangkunegaran. Metode yang digunakan dimulai dari pengumpulan data di GI Jajar-Mangkunegaran, perhitungan secara manual, membuat single line diagram pada ETAP 12.6, melakukan simulasi dan membandingkan hasil simulasi dengan perhitungan manual, kemudian dapat ditarik kesimpulan. Pengambilan data dilakukan selama satu bulan pada pukul 10:00 dan 19:00. Saluran transmisi ini memakai penghantar dengan type XLPE dengan diameter 240 mm². Hasil dari penelitian ini didapatkan rugi daya selama satu bulan sebesar 16209,552 kWh dengan kerugian biaya sebesar Rp.19.282.059,00. Kerugian daya paling besar terjadi pada siang hari tanggal 7 November sebesar 0,0288660 MW dan kerugian paling kecil pada malam hari sebesar 0,0158807 MW. Rugi pada trafo selama satu bulan pada waktu siang hari sebesar 607,715 kW sedangkan pada malam hari sebesar 575 kW.

Kata kunci: *Analisa, ETAP 12.6, Trafo, Transmisi.*

Abstract

Electricity is a vital requirement for human life. PT. PLN (Persero) is always trying to provide power supply with the reliability and quality of electricity the best, at the time of the distribution process of the plant to the consumer needs to be a power line including the transmission line. The distribution process will experience power losses in both the conductor and transformer. This analysis aimed to determine and compare the value between manual calculation with the simulation results of ETAP 12.6. This analysis was conducted to determine the value of power loss of the transmission line Jajar to Mangkunegaran. The method used starting from the collection of data in GI Jajar-Mangkunegaran, calculations manually, create a single line diagram in ETAP 12.6, perform simulations and compare the simulation results with manual calculations, then it can be deduced. Data were collected during the month at 10:00 and 19:00. The transmission line is wearing a conductor with XLPE type with a diameter of 240 mm². The results of this study, the power losses during the month amounted to 16209.552 kWh at a cost of Rp.19.282.059,00 loss. The most substantial power losses occur at noon on 7 November amounted to 0.0288660 MW and the smallest loss during the night of 0.0158807 MW. Loss on transformer for one month at a time during the day amounted to 607,715 kW, while in the evening of 575 kW.

KeyWords: *Analysis, ETAP 12.6, Transformer, Transmission.*

**STUDI PERKIRAAN SUSUT ENERGI DAN DAYA LISTRIK PADA JARINGAN
TRANSMISI TEGANGAN TINGGI 150 KV JAJAR – MANGKUNEGARAN
Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) APP SALATIGA**

1. PENDAHULUAN

Era yang semakin berkembang seperti ini, energi listrik dapat dikatakan suatu bentuk hasil teknologi yang sangat vital dalam kehidupan manusia. Semakin berkembangnya teknologi juga bahkan mempengaruhi gaya hidup masyarakat, terlebih kebutuhan masyarakat yang saat ini hampir semua peralatan menggunakan energi listrik yang berdampak pada kebutuhan listrik yang kian hari kian meningkat termasuk juga kebutuhan kantor, industri dan lainnya. Pemerintah menetapkan Kebijakan Energi Nasional melalui PP No. 5 Tahun 2006. Beberapa langkah kebijakan utama dalam KEN tersebut meliputi: kebijakan penyediaan energi, kebijakan pemanfaatan energi, kebijakan harga energi dan kebijakan pelestarian dengan menerapkan prinsip pembangunan berkelanjutan (Kebijakan Energi Nasional, 2006).

PT. PLN (Persero) yang menjadi penyedia listrik negara Indonesia selalu berusaha memberikan pasokan listrik terbaik termasuk dalam pelayanan, keandalan dan kualitas listrik yang baik. Pendistribusian listrik dari pusat pembangkit hingga sampai ke konsumen diperlukan adanya suatu saluran listrik yaitu saluran transmisi dan saluran distribusi. Penyaluran energi listrik nantinya akan mengalami rugi-rugi teknis (*losses*), yaitu rugi daya dan rugi energi, mulai dari pembangkit, transmisi, dan distribusi (Barbulescu & Fati, 2015).

Proses penyelesaian masalah tersebut banyak pihak-pihak yang masih sering dijumpai menggunakan perhitungan manual dan pada akhirnya membutuhkan waktu yang lebih lama. Perkembangan ilmu pengetahuan dan ilmu teknologi sekarang, ada software komputer untuk mempermudah dan mempercepat perhitungan dan simulasi, software tersebut adalah ETAP (*Electrical Transient and Analysis Program*). ETAP adalah suatu jenis perangkat yang dapat mendukung perhitungan dan simulasi sistem tenaga listrik. Parameter data juga dapat dimasukkan sehingga data nantinya juga akan mempengaruhi hasil dari simulasinya. Software ETAP tersebut mempunyai banyak sekali fitur yang disediakan termasuk fitur untuk sistem transmisi ataupun sistem distribusi dan dapat langsung menganalisa proses pembangkitan tenaga listrik (Muhammad Ruswandi Djalal, 2012).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daya Listrik

Daya listrik merupakan jumlah energi yang diserap atau dihasilkan oleh suatu rangkaian. Sistem tenaga listrik mempunyai tiga jenis daya listrik yang saling berhubungan dan dipengaruhi oleh faktor kerja ($\cos\theta$). Adapun tiga jenis daya listrik tersebut adalah:

- Daya aktif : daya yang diperlukan oleh beban resistif murni, dimanfaatkan untuk mengubah energi listrik menjadi energi lain. Satuan daya aktif adalah watt dengan simbol P.

- Daya reaktif : daya yang dibutuhkan untuk membangkitkan medan magnet dikumparan beban induktif, dapat juga diartikan sebagai daya yang timbul akibat arus listrik melalui kumparan kawat. Satuan daya reaktif adalah VAR dengan simbol Q.
- Daya semu : hasil perkalian antara tegangan efektif (*root mean square*) dengan arus efektif (*root mean square*). Tegangan rms merupakan nilai tegangan listrik AC yang akan menghasilkan daya yang sama dengan daya listrik DC ekuivalen pada beban resistif yang sama. Satuan daya semu adalah VA dengan simbol S.

2.2 Faktor Daya

Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif dengan daya semu, biasa disebut juga dengan $\cos\theta$.

2.3 Rugi Daya Pada Penghantar

Susut daya pada penghantar merupakan hilangnya daya tahanan pada penghantar. Susut daya dapat disebabkan karena rugi pada tahanan itu sendiri dan juga dapat terjadi rugi karena kebocoran. Dalam kata lain, rugi-rugi daya adalah selisih antara daya kirim dan daya terima.

2.4 Rugi Daya Pada Transformator

Rugi pada trafo timbul dari 2 sisi yaitu sisi primer dan sisi sekunder. Ada beberapa komponen penyebab rugi-rugi pada trafo yaitu rugi besi, rugi tembaga dan flux bocor.

1. Rugi tembaga: Rugi ini disebabkan oleh arus yang mengalir pada lilitan tembaga. Arus ini mengalir ketika trafo dibebani, jadi rugi tembaga ini berubah-ubah tergantung beban. Dengan rumus $P_{cu} = I^2R$.
2. Rugi besi: Rugi yang disebabkan oleh fluks bolak-balik pada inti besi.
3. Flux bocor: Flux bocor ini biasanya relatif kecil. Untuk mengurangi flux bocor ini dibuatlah inti trafo dari besi lunak agar flux magnet terfokus dan tidak menyebar ke segala penjuru.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Tahap Penelitian

Pengambilan data dilakukan pada PT. PLN (Persero) Rayon Surakarta. Data yang dikumpulkan adalah data dari GI Jajar dan GI Mangkunegaran. Pengambilan data dilakukan selama sebulan penuh dengan mencatat tegangan dan arus setiap hari, beban puncak setiap hari dicatat pada pukul 10.00 dan 19.00 WIB. Pencatatan tersebut dilakukan dengan membaca control panel yang ada pada gardu induk. Control panel pada gardu induk sebagai pembaca dan juga berfungsi sebagai penyimpan data arus dan tegangan.

Saluran transmisi dari Jajar ke Mangkunegaran menggunakan saluran transmisi bawah tanah, menggunakan penghantar dengan type XLPE dengan diameter 240 mm². Penghantar dengan type XLPE ini terdapat resistansi dan diperoleh 0,0754 Ω , dimana resistansi konduktor dihitung pada setiap jarak 1000 m (1 kilometer) dengan jarak saluran transmisi sepanjang 5,60 kilometer. Resistansi yang ada di kawat penghantar inilah yang menjadi faktor terpenting terjadinya rugi-rugi daya.

Perhitungan rugi-rugi daya pada penghantar jaringan tiga fasa dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_{\text{loss}} = 3 \cdot I^2 \cdot R \quad (1)$$

Keterangan: P_{loss} = rugi-rugi daya (watt)

I = arus yang mengalir (A)

R = tahanan saluran (Ω /meter)

Perusahaan pemasok listrik mengalami kerugian karena hilangnya energi akibat rugi-rugi daya tersebut. Terjadinya kerugian disebabkan energi yang diterima tidak sebesar energi yang dikirim sehingga energi yang dikirim tidak dapat terjual sepenuhnya. Setelah menghitung rugi-rugi daya penulis mencoba menganalisa atau memperkirakan besar dana yang dirugikan karena rugi-rugi daya tersebut dengan persamaan:

$$E = p \times t \quad (2)$$

Keterangan: E = energi listrik (watt.jam)

p = daya alat listrik (watt)

t = lama pemakaian (jam)

$$\text{Biaya listrik} = E \times 1000 \cdot \text{TTL} \quad (3)$$

Keterangan: $E \times 1000$ = pemakaian listrik (kWh)

TTL = tarif tenaga listrik (Rp)

Saluran transmisi ini kemudian masuk ke transformator yang berada di GI Mangkunegaran. Transformator dengan type PAUWELS 60 MVA ini terdapat tahanan dan diperoleh 0,6842 Ω . Perhitungan ini untuk menghitung rugi tembaga yang merupakan rugi yang disebabkan arus beban mengalir pada kawat tembaga (P_{cu}), dapat dihitung dengan persamaan:

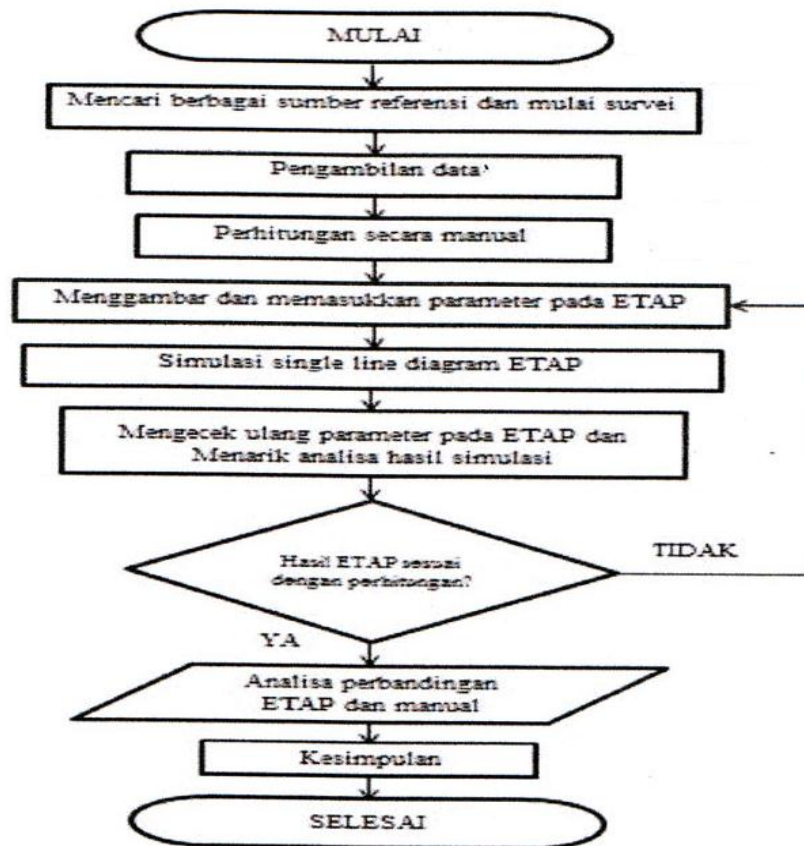
$$P_{\text{cu}} = I^2 \cdot R \quad (4)$$

Keterangan: P_{cu} = rugi tembaga (watt)

I = arus yang mengalir (A)

R = tahanan saluran (Ω)

3.2 Flowchart Penelitian



Gambar 1. Flowchart Penelitian

3.3 Studi Literatur

Bertujuan untuk mencari referensi ataupun data-data seputar judul yang diangkat, baik sumber buku, jurnal ataupun internet.

3.4 Pengambilan Data

Merupakan survey untuk mengetahui data/informasi di lapangan secara langsung sesuai dengan judul yang diangkat. Dalam pengambilan data untuk penelitian ini diperoleh data dari Gardu Induk Jajar dan Gardu Induk Mangkunegaran.

3.5 Perhitungan dan Analisa Data

Setelah data didapat dari lapangan, kemudian perhitungan dimulai dengan mengacu pada sumber dan teori seputar rugi daya yang terjadi pada sistem transmisi Jajar-Mangkunegaran.

Untuk proses analisa data, akan membandingkan selisih antara hasil rugi daya dengan perhitungan manual dan hasil report dari software ETAP.

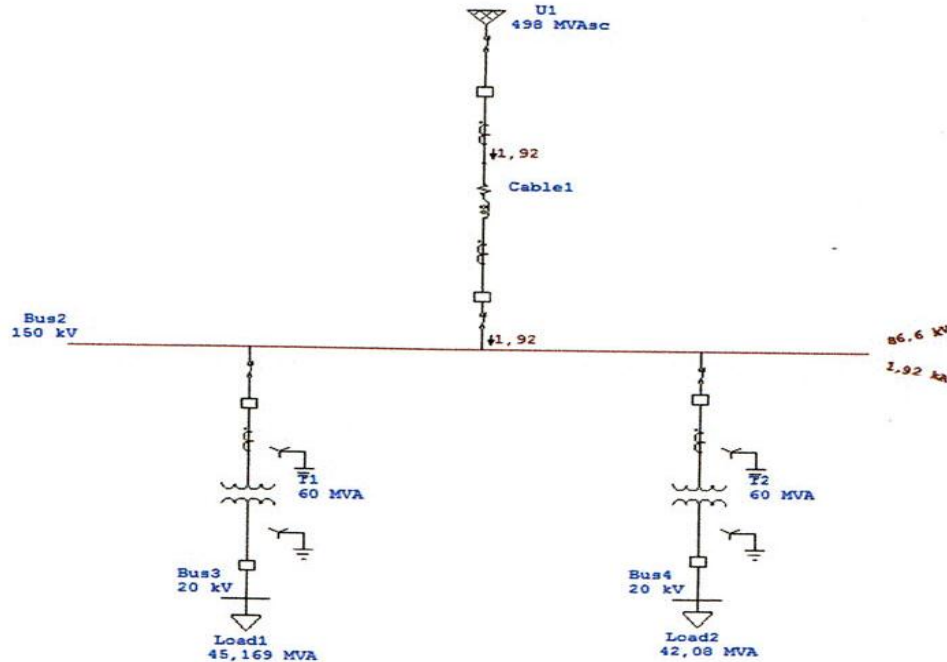
3.6 Kesimpulan

Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan manual dan analisa perbandingan dengan report ETAP, nantinya akan didapatkan nilai rugi daya pada penghantar dan transformator.

4. PEMBAHASAN

4.1 Rugi-rugi Daya Pada Penghantar

Perhitungan rugi-rugi daya yang akan dianalisa yaitu rugi-rugi daya pada penghantar dari Jajar ke Mangkunegaran. Saluran transmisi ini cukup jauh dan nantinya akan menimbulkan rugi-rugi daya yang merupakan selisih antara daya kirim dan daya terima. Dari data yang diperoleh pada saat penelitian, telah dilakukan perhitungan dan terlampir pada Tabel 1.



Gambar 2. Jaringan sistem tenaga listrik 150 kV dari GI Jajar-GI Mangkunegaran

Rugi-rugi daya pada penghantar XLPE dengan resistansi $0,0754 \Omega$ dengan jarak 1000 meter untuk bulan November tahun 2016 adalah:

Pukul 10:00

Tanggal 1	$3 \times 132^2 \times 0,422 = 22058,78 \text{ W}$	$: 1000000 = 0,0220587 \text{ MW}$
Tanggal 2	$3 \times 122^2 \times 0,422 = 18843,14 \text{ W}$	$: 1000000 = 0,0188431 \text{ MW}$
Tanggal 3	$3 \times 140^2 \times 0,422 = 24813,6 \text{ W}$	$: 1000000 = 0,0248136 \text{ MW}$
Tanggal 4	$3 \times 137^2 \times 0,422 = 23761,55 \text{ W}$	$: 1000000 = 0,0237615 \text{ MW}$
Tanggal 5	$3 \times 140^2 \times 0,422 = 24813,6 \text{ W}$	$: 1000000 = 0,0248136 \text{ MW}$

Pukul 19:00

Tanggal 1	$3 \times 115^2 \times 0,422 = 16742,85 \text{ W}$	$: 1000000 = 0,0167428 \text{ MW}$
Tanggal 2	$3 \times 124^2 \times 0,422 = 19466,01 \text{ W}$	$: 1000000 = 0,0194660 \text{ MW}$
Tanggal 3	$3 \times 131^2 \times 0,422 = 21725,82 \text{ W}$	$: 1000000 = 0,0217258 \text{ MW}$
Tanggal 4	$3 \times 134^2 \times 0,422 = 22732,29 \text{ W}$	$: 1000000 = 0,0227322 \text{ MW}$
Tanggal 5	$3 \times 132^2 \times 0,422 = 22058,78 \text{ W}$	$: 1000000 = 0,0220587 \text{ MW}$

Rata-rata P_{loss} per hari

$$\begin{aligned}\text{Tanggal 1} & \frac{0,022058+0,0167428}{2} = 0,0194004 \text{ MW} \times 24 \text{ jam} = 0,4656096 \text{ MWh} \\ \text{Tanggal 2} & \frac{0,0188431+0,0194660}{2} = 0,0191545 \text{ MW} \times 24 \text{ jam} = 0,4597092 \text{ MWh} \\ \text{Tanggal 3} & \frac{0,0248136+0,0217258}{2} = 0,0232697 \text{ MW} \times 24 \text{ jam} = 0,5584730 \text{ MWh} \\ \text{Tanggal 4} & \frac{0,0237615+0,0227322}{2} = 0,0232468 \text{ MW} \times 24 \text{ jam} = 0,5579244 \text{ MWh} \\ \text{Tanggal 5} & \frac{0,0248136+0,0220587}{2} = 0,0234361 \text{ MW} \times 24 \text{ jam} = 0,5624664 \text{ MWh}\end{aligned}$$

Tabel 1. Hasil perhitungan rugi-rugi daya pada penghantar XLPE dengan resistansi 0,0754 Ω setiap jarak 1000 meter untuk bulan November tahun 2016.

Tgl	P (MW)	I (A)	Ploss 10:00 (MW)	P (MW)	I (A)	Ploss 19:00 (MW)	Rata-rata Ploss/hari (MW)	Ploss (MWh)
1	-32	132	0,0220587	-29	115	0,0167428	0,0194004	0,4656096
2	-30	122	0,0188431	-27	124	0,0194660	0,0191545	0,4597092
3	-35	140	0,0248136	-32	131	0,0217258	0,0232697	0,5584730
4	-34	137	0,0237615	-33	134	0,0227322	0,0232468	0,5579244
5	-36	140	0,0248136	-33	132	0,0220587	0,0234361	0,5624664
6	-35	138	0,0241097	-34	123	0,0191533	0,0216315	0,519156
7	-37	151	0,0288660	-37	141	0,0251693	0,0270176	0,6484236
8	-36	143	0,0258843	-34	138	0,0241097	0,024997	0,599928
9	-35	145	0,0266176	-32	130	0,0213954	0,0240065	0,576156
10	-31	129	0,0210675	-30	128	0,0207421	0,0209048	0,5017152
11	-32	140	0,0248136	-31	138	0,0241097	0,0244616	0,5870796
12	-34	129	0,0210675	-32	132	0,0220587	0,0215631	0,5175144
13	-33	136	0,0248136	-30	112	0,0158807	0,0203471	0,4883316
14	-32	130	0,0213954	-32	128	0,0207421	0,0210687	0,50565
15	-33	132	0,0220587	-34	132	0,0220587	0,0220587	0,5294088
16	-32	130	0,0213954	-31	127	0,0204193	0,0209073	0,5017764
17	-32	132	0,0220587	-33	130	0,0213954	0,0217270	0,5214492
18	-32	140	0,0248136	-32	132	0,0220587	0,0234361	0,5624676
19	-32	138	0,0241097	-32	134	0,0227322	0,0234209	0,5621028
20	-34	132	0,0220587	-31	128	0,0207421	0,0214004	0,5136096
21	-30	125	0,0197812	-31	138	0,0241097	0,0219454	0,5266908
22	-32	131	0,0217258	-32	136	0,0248136	0,0232697	0,5584728
23	-32	134	0,0227322	-32	138	0,0241097	0,0234209	0,5621028
24	-31	120	0,0182304	-33	136	0,0248136	0,021522	0,516528
25	-31	131	0,0217258	-30	122	0,0188431	0,0202844	0,4868268
26	-34	142	0,0255276	-32	132	0,0220587	0,0237931	0,5710356
27	-36	140	0,0248136	-30	122	0,0188431	0,0218283	0,5238804
28	-32	135	0,0230728	-32	134	0,0227322	0,0229025	0,54966
29	-33	142	0,0255276	-31	142	0,0255276	0,0255276	0,6126624
30	-31	131	0,0217258	-31	141	0,0251693	0,0234475	0,5627412

Tabel 1 memperlihatkan bahwa rugi-rugi daya yang terjadi pada proses pengiriman daya dari GI Jajar ke GI Mangkunegaran. Pada siang hari tanggal 6 November kehilangan daya cukup besar yakni mencapai 0,0288660 MW dibandingkan dengan hari-hari lainnya, sedangkan kehilangan daya terendah pada waktu siang hari terjadi pada tanggal 24 November mencapai 0,0182304 MW. Pada waktu malam hari tanggal 29 November kehilangan daya cukup besar yakni mencapai 0,0255276 MW dibandingkan dengan hari-hari lainnya,

sedangkan kehilangan daya terendah pada malam hari terjadi pada tanggal 13 November yang mencapai 0,0158807 MW.

Hilangnya daya pada saluran transmisi juga mengakibatkan kerugian pada segi dana penjualan yang ditanggung oleh perusahaan pemasok listrik. Penulis mencoba untuk menghitung kerugian yang ditanggung oleh PT. PLN (Persero) dengan melihat tarif tenaga listrik (TTL) pada tahun 2016 yang ditaksir dengan tarif rata-rata terlampir pada tabel berikut:

Tabel 2. Tarif Tenaga Listrik (TTL) pada Tahun 2016

Daya Listrik	Tarif Listrik	Keterangan
450 VA	Rp. 415/kWh	Subsidi
900 VA	Rp. 605/kWh	Subsidi
1300 VA	Rp. 1467,28/kWh	Non-Subsidi
2200 VA	Rp. 1467,28/kWh	Non-Subsidi
3500 VA - 5500 VA	Rp. 1467,28/kWh	Non-Subsidi
6600 VA - keatas	Rp. 1467,28/kWh	Non-Subsidi
6600 VA – 200 kVA	Rp. 1467,28/kWh	Non-Subsidi
Rata-rata tarif	Rp. 1193,77/kWh	

Tabel diatas merupakan tarif tenaga listrik bersubsidi dan non-subsidi pada Tahun 2016, nantinya dari tabel diatas sebagai acuan untuk memperkirakan kerugian dana dari rugi-rugi daya yang ditanggung oleh PT. PLN (Persero) pada saluran transmisi GI Jajar ke GI Mangkunegaran.

Perhitungan biaya listrik yang hilang:

Tanggal 1 $0,4656096 \text{ MWh} \times 1000 = 465,6096 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1193,77 = 555.830,7$
 Tanggal 2 $0,4597092 \text{ MWh} \times 1000 = 459,7092 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1193,77 = 548.787,6$
 Tanggal 3 $0,5584730 \text{ MWh} \times 1000 = 558,473 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1193,77 = 666.688,3$
 Tanggal 4 $0,5579244 \text{ MWh} \times 1000 = 557,9244 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1193,77 = 666.033,4$
 Tanggal 5 $0,5624664 \text{ MWh} \times 1000 = 562,4664 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1193,77 = 671.455,5$

Tabel 3. Biaya perkiraan kerugian PT. PLN (Persero) karena rugi-rugi daya dengan tarif tenaga listrik rata-rata Rp. 1193,77/kWh sebagai berikut:

Tanggal	Ploss (MWh)	Ploss (kWh)	Harga Jual (Rp)
1	0,4656096	465,6096	555.830,7
2	0,4597092	459,7092	548.787,6
3	0,5584730	558,473	666.688,3
4	0,5579244	557,9244	666.033,4
5	0,5624664	562,4664	671.455,5
6	0,519156	519,156	619.752,8
7	0,6484236	648,4236	774.068,6
8	0,599928	599,928	668.425,2
9	0,576156	576,156	687.797,7
10	0,5017152	501,7152	598.932,5
11	0,5870796	587,0796	700.838,1
12	0,5175144	517,5144	617.793,1
13	0,4883316	488,3316	582.955,6
14	0,50565	505,65	582.955,6
15	0,5294088	529,4088	631.992,3
16	0,5017764	501,7764	599.005,6
17	0,5214492	521,4492	622.490,5
18	0,5624676	562,4676	671.456,9
19	0,5621028	562,1028	671.021,4
20	0,5136096	513,6096	613.131,7
21	0,5266908	526,6908	628.747,6
22	0,5584728	558,4728	666.688,1
23	0,5621028	562,1028	671.021,4
24	0,516528	516,528	616.615,6
25	0,4868268	486,8268	581.159,2
26	0,5710356	571,0356	681.685,1
27	0,5238804	523,8804	625.392,7
28	0,54966	549,66	656.167,6
29	0,6126624	612,6624	731.377,9
30	0,5627412	562,7412	671.783,5
Total Ploss 16209,552 kWh		Total Rp. 19.282.059,00	

Tabel 3 menunjukkan bahwa rugi daya pada saat proses transmisi dari GI Jajar ke GI Mangkunegaran selama satu bulan sebesar 16209,552 kWh. Selain mengalami rugi-rugi daya pihak PT. PLN (Persero) juga menanggung rugi materi dari segi dana yang merupakan hasil perkalian dengan biaya per kWh tarif tenaga listrik sebesar Rp. 19.282.059,00 selama satu bulan.

4.2 Rugi-rugi Daya Pada Transformator

Rugi-rugi pada transformator ini merupakan perbandingan antara daya yang masuk dengan daya yang keluar pada transformator. Transformator yang dipakai adalah transformator dengan merk PAUWELS 60 MVA ini terdapat resistansi dan diperoleh 0,6842 Ω . Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak tetap tergantung pada beban. Dari data yang diperoleh pada saat penelitian, telah dilakukan perhitungan yang terlampir pada tabel 4.

Rugi-rugi daya pada transformator dengan resistansi 0,6842 Ω pada bulan November tahun 2016 adalah:

Pukul 10:00

Tanggal 1	$152^2 \times 0,422 = 15807,75 \text{ W} : 1000 = 15,807 \text{ kW}$
Tanggal 2	$142^2 \times 0,422 = 13796,20 \text{ W} : 1000 = 13,796 \text{ kW}$
Tanggal 3	$170^2 \times 0,422 = 19773,38 \text{ W} : 1000 = 19,733 \text{ kW}$
Tanggal 4	$175^2 \times 0,422 = 20953,62 \text{ W} : 1000 = 20,953 \text{ kW}$
Tanggal 5	$170^2 \times 0,422 = 19773,38 \text{ W} : 1000 = 19,773 \text{ kW}$

Pukul 19:00

Tanggal 1 $132^2 \times 0,422 = 11921,50 \text{ W} : 1000 = 11,921 \text{ kW}$

Tanggal 2 $170^2 \times 0,422 = 19773,38 \text{ W} : 1000 = 19,733 \text{ kW}$

Tanggal 3 $171^2 \times 0,422 = 20006,69 \text{ W} : 1000 = 20,006 \text{ kW}$

Tanggal 4 $175^2 \times 0,422 = 20953,62 \text{ W} : 1000 = 20,953 \text{ kW}$

Tanggal 5 $185^2 \times 0,422 = 23416,74 \text{ W} : 1000 = 23,416 \text{ kW}$

Tabel 4. Hasil perhitungan rugi-rugi daya pada transformator dengan resistansi $0,6842 \Omega$ untuk bulan November tahun 2016.

Tgl	I (A)	Pcu (10:00) kW	I (A)	Pcu (19:00) kW
1	152	15,807	132	11,921
2	142	13,796	170	19,773
3	170	19,773	171	20,006
4	175	20,953	175	20,953
5	170	19,773	185	23,416
6	154	16,226	183	22,913
7	189	24,440	183	22,913
8	175	20,953	175	20,953
9	175	20,953	170	19,773
10	150	15,394	157	16,864
11	170	19,773	160	17,515
12	170	19,773	175	20,953
13	150	15,394	151	15,600
14	177	21,435	170	19,773
15	178	21,678	165	18,627
16	200	27,368	162	17,596
17	200	27,368	168	19,310
18	200	27,368	167	19,081
19	175	20,953	168	19,310
20	175	20,953	168	19,310
21	148	14,986	180	22,168
22	152	15,807	175	20,953
23	180	22,168	175	20,953
24	175	20,953	160	17,515
25	170	19,773	159	17,297
26	180	22,168	158	17,080
27	175	20,953	152	15,807
28	170	19,773	157	16,864
29	179	21,922	170	19,773
30	167	19,081	175	20,953
		Total Pcu 607,715 kW		
			Total Pcu 576 kW	

Tabel 4 memperlihatkan bahwa rugi daya yang terjadi pada transformator cukup besar. Rugi transformator pada waktu siang hari selama satu bulan sebesar 607,715 kW, sedangkan pada waktu malam hari selama satu bulan sebesar 576 kW. Pada siang hari tanggal 16, 17 dan 18 November kehilangan daya cukup besar yakni mencapai 27,368 kW dibandingkan dengan hari lain-lainnya, sedangkan kehilangan daya terkecil pada waktu siang hari terjadi pada tanggal 2 November yang hanya mencapai 13,796 kW. Pada waktu malam hari tanggal 5 November kehilangan daya cukup besar yakni mencapai 23,416 kW, sedangkan kehilangan daya terendah pada tanggal 1 November yang hanya mencapai 11,921 kW.

4.3 Analisa Perbandingan Perhitungan Manual dengan SoftWare ETAP 12.6

Software ETAP sebagai alat bantu perbandingan dengan perhitungan manual, dari hasil simulasi rangkaian jaringan sistem tenaga listrik dari GI Jajar ke GI Mangkunegaran didapatkan hasil sebagai berikut:

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
Cable1	84.975	14.023	-84.975	-14.034	0.2	-11.0	100.0	100.0	0.00
T1	43.783	7.987	-43.689	-3.769	93.7	4217.9	100.0	98.5	1.47
T2	41.192	6.047	-41.114	-2.538	78.0	3509.2	100.0	98.9	1.06
					171.9	7716.1			

Gambar 3 Laporan rugi-rugi daya penghantar dan transformator

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari topik yang dibahas tentang rugi-rugi daya baik perhitungan manual dengan simulasi yang ada di ETAP dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Hasil perhitungan manual didapatkan Ploss selama satu bulan sebesar 16209,552 kWh.
2. Total biaya dari rugi-rugi daya tersebut selama satu bulan sebesar Rp. 19.282.059,00
3. Kehilangan daya paling besar pada waktu siang hari sebesar 0,0288660 MW, sedangkan kehilangan daya terkecil sebesar 0,0182304 MW.
4. Kehilangan daya paling besar pada waktu malam hari sebesar 0,0255276 MW, sedangkan kehilangan daya terkecil sebesar 0,0158807 MW.
5. Rugi transformator pada waktu siang hari selama satu bulan sebesar 607,715 kW, sedangkan pada waktu malam hari sebesar 575 kW.
6. Rugi transformator paling besar pada waktu siang hari sebesar 27,368 kW, sedangkan paling kecil sebesar 13,796 kW.
7. Rugi transformator paling besar pada waktu malam hari sebesar 23,416 kW, sedangkan paling kecil sebesar 11,921 kW.
8. Hasil report dari simulasi ETAP Ploss sebesar 0,2 kW.
9. Rugi transformator pada hasil report ETAP sebesar 93,7 kW.

PERSANTUNAN

Penulis sangat bersyukur dan mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya untuk semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan tugas akhir ini, rasa hormat dan terima kasih penulis berikan kepada:

1. Allah SWT serta junjungan beliau RASULULLAH MUHAMMAD SAW.
2. Bp. Wasis Eka Susila dan Ibu Sunarsih tercinta yang telah memberikan doa, semangat dan bimbingan sampai penulis bisa seperti ini.
3. Keluarga dan Rizky Dian P. Yang selalu memberikan dukungan serta doanya.
4. Bapak Umar S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
5. Bapak Jatmiko selaku Dosen Pembimbing yang terus mendorong serta memberikan masukan sampai seperti ini.
6. Bapak Sugeng selaku Supervisor di Gardu Induk Jajar yang telah membantu, memberikan dan menjelaskan data-data yang perlu diambil serta memberikan bimbingan sampai penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Rekan di GI Jajar dan Mangkunegaran Qoder dan Trio yang selalu membantu dan memberi solusi.
8. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2013 yaitu Ghofur Kosasih, Ihsan Pratama, Angga Zuliyanto, Rika Ariyanto, Rio Wicandaru, Hammam Nur, Elfan, Muh. Sanusi, Shahlan Hariyadi serta semua teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan motivasi dan dukungan.
9. Teman-teman kos yaitu Wisnu Bayu, Faria Tri, Aji, Candra Nugraha, Rezqy Admaja yang selalu mengingatkan dan memberikan masukan sampai terselesaikannya tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Peraturan Presiden RI Nomor 5 Tahun (2006) tentang Kebijakan Energi Nasional.
2. Barbulescu , C., St, K., & Fati, O. (2015). 110 Kv network technical losses assessment. Real distribution system case study. *Journal of sustainable energy*, 6(2), 65-71.
3. Hari Prasetijo, (2010). Jurnal Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 20 kV Untuk Perbaikan Profil Tegangan Dan Susut Daya Listrik (Techno, Volume 11 No. 2, Oktober 2010 Hal. 56 – 63).
4. Muhammad Ruswandi Djalal, 2012. Tentang ETAP (Electrical Transient Analyzer Program). [http://energi08pnup.blogspot.com/2012/08/ETAP\(Electrical Transient Analyzer Program\).html](http://energi08pnup.blogspot.com/2012/08/ETAP(Electrical%20Transient%20Analyzer%20Program).html) (diakses pada tanggal 11 November 2016 pukul 16.18).
5. Muchyi, Abdul. (2009). *“Studi Perkiraan Susut Energi dan Alternatif Perbaikan pada Penyulang”*. Universitas Indonesia. Jakarta.
6. Waluyo. (2007). *“Perhitungan Susut Daya Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah Saluran Udara dan Kabel”*. Jurnal Sains dan Teknologi EMAS. Bandung.
7. Primanda Arief, Unggul Wibawa, Teguh Utomo (2013). *“Studi Perkiraan Susut Teknis Pada Penyulang Kayoman Gardu Induk Sukorejo”*. Universitas Brawijaya. Malang